

文章编号: 1000-5692(2003)03-0311-04

景观生态空间异质性的研究进展

蒋文伟¹, 刘 彤², 丽霞³, 温国胜³, 张万荣¹, 钟泰林⁴

(1. 浙江林学院 园林与艺术学院, 浙江 临安 311300; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037;
3. 浙江林学院 生命科学学院, 浙江 临安 311300; 4. 浙江林学院 植物园, 浙江 临安 311300)

摘要: 空间异质性是新兴的景观生态学研究的核心问题, 已成为国内外景观生态学界研究的焦点。从空间异质性概念、空间结构特征与尺度关系和景观生态规划的实践研究等方面综述了空间异质性的研究进展, 指明了景观空间格局与生态过程之间的影响与反馈研究应重视景观内在的生态流作用的发展方向, 最后提出了将异质性理论运用于景观生态规划的发展目标。参41

关键词: 生态学; 空间异质性; 景观生态规划; 综述; 展望

中图分类号: Q149; S718.5 **文献标识码:** A

景观生态学作为近代以来一门新兴的交叉学科, 在国际生态学界的学科地位不断提高, 体现了现代生态学向宏观和横向发展的一大趋势。由于它强调研究对象的空间异质性, 因此在研究内容和方法上更加注重应用新技术, 如GIS、遥感、空间分析和计算机的应用等方法, 从而成为生态学与地理学的前沿学科之一。在研究方法上, 景观生态学与现代地理学信息手段紧密结合, 又不失生态学强调过程与功能研究的特色, 因此新成果不断涌现, 应用前景也越来越广。

1 异质性的概念

空间异质性(spatial heterogeneity)是20世纪90年代生态学研究的一个极为重要的理论问题^[1], 同时也是生态学家研究不同尺度的生态系统功能和过程中最感兴趣的问题^[2]。Kolasa和Pickett^[3]将空间异质性定义为某种生态学变量在空间分布上的不均匀性及复杂程度, 是空间缀块性(patchness)和空间梯度(gradiant)的综合反映。Li和Reynolds^[4]认为, 空间异质性可根据2个组分来解释, 即所研究景观的系统特征及其复杂性和变异性。系统特征可以是生态学所涉及任何变量如生态系统类型、植物盖度、生物量和土壤养分等, 复杂性涉及到系统特征的定性描述, 而变异性涉及到系统特征的定量描述。如果系统特征的复杂性和变异性考虑结构特征时, 空间异质性称为结构异质性(structure heterogeneity)^[5], 如果考虑到生态学过程和功能作用时, 空间异质性则称为功能异质性(functional heterogeneity)^[3]。空间异质性是随着所研究的系统特征不同而变化, 不同系统特征的空间异质性描述方式和变异格局是不同的。空间异质性是生态系统的主要属性之一^[3], 它来源于自然干扰、人类活动、植被的内源演替及特定的发展历史, 是导致空间格局的主要原因^[3,6,7], 因此空间异质性在许多生态学理论中起中心作用^[1,2,8], 并且成为现代生态学理论的新的范式^[10], 指导和帮助我们理解生态学

收稿日期: 2003-01-16; 修回日期: 2003-05-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30240033)

作者简介: 蒋文伟(1963—), 男, 浙江宁波人, 副教授, 博士, 从事景观生态学和植物生态学研究。E-mail: jiangwengwei@sohu.com

的复杂过程及其反馈机制^[11]。

2 空间结构特征、尺度和异质性

空间异质性,尤其是障碍、通道和高异质性区域的组合,决定着物种、能量和干扰在景观中的流动或运动,并始终同抗干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性有着密切关系^[12],因此,弄清空间结构特征与生态学过程的关系是十分必要的。在景观生态学中,尺度是影响空间结构特征的重要因素,尺度的变换可能会导致空间异质性的出现和消失^[3],空间异质性结构特征必需考虑尺度问题。这是因为生态系统及其结构特征是在多尺度上存在的,即具有等级结构^[3],在不同的时间和空间尺度上,不同的生态学过程的作用和重要性也不同^[13]。这种时空尺度的确定有助于区别不同的空间结构格局所对应的生态过程^[14]。景观过程的控制存在于较小的尺度当中,往往产生同质性结构,同时另一些过程存在于较大的尺度中,产生强烈的异质性结构,测定不同尺度上的空间异质性有助于认识在哪一尺度上异质性控制某一生态过程,绝不可未经研究,就把在一种尺度上得到的概括性结论推广到另一种尺度上去^[15, 16],离开尺度来讨论空间的异质性、格局和干扰是毫无意义的。按O'Neill的等级理论,尺度外推所获的结论很难理解^[17]。但King认为,不同等级上的生态系统都是由低一等级的系统所构成,如嵌块体构成景观,景观又构成区域,不同等级之间存在着信息交流,这种信息交流就构成了等级之间的相互联系^[18]。这种联系也许能使尺度上推和下推成为可能,它不仅可以用于景观格局的分析,而且还可用于生态学事件机制的解释^[19]。

在景观尺度上空间异质性结构特征包括空间组成、空间构型和空间相关3个部分的内容^[20]。空间组成是指景观要素(生态系统)的类型、数量和面积比例,空间构型是指景观要素的空间分布、嵌块体形状、大小和景观对比和景观连接度,空间相关性是指嵌块体异质性与空间参数的相互作用,以及空间关联度,空间规律性是指空间梯度和趋势^[21]。在开放的生态系统中,能量由一种状态流向另一种状态,伴随着新结构的建立而增加了空间异质性,而空间异质性的产生机制正是基于这种热力学原理,此外,外动力因子对景观形成的自然干扰,生态系统的演替以及人为活动的影响也都是产生空间异质性的重要原因。特别是当代人类活动对生态环境的影响日益增大,对于某些地区景观的变化更是起到了控制性的作用^[22]。

3 景观生态规划的实践研究

空间异质性理论如何运用到景观生态规划与设计中,达到自然资源高效利用,人与环境高度和谐,区域生态系统的可持续发展目标,就必须积极开展景观尺度上的生态建设研究。目前,景观生态建设涵盖生态规划、生态管理和生态调控技术3个方面。一是通过对原有景观要素的优化组合或引入新的成分,调整或构建新的景观格局,以增加景观异质性和稳定性,从而创造出优于原有的景观生态系统的经济和生态效益^[23, 24]。二是控制人类活动的方式与强度,补偿和恢复景观的生态功能^[25, 26]。三是按照景观生态学规律进行可更新自然资源的开发与生产活动,注重宏观生态设计与多学科综合研究^[27]。

在上述生态建设理论的指导下,我国黄土高原进行了农业景观生态规划。以“坡修梯田,构筑坝地,发展林草,立体镶嵌”的林草植被恢复技术,构建黄土高原林草镶嵌的景观格局,一方面有利于土壤养分和水土保持^[28],另一方面有利于提供饲料发展畜牧业。在具体设计上要严格遵循景观生态特性,具体措施包括:沟沿下的沟坡地栽植灌木——固坡保土,因地制宜发展林果业;整地可采用水平阶和等高间隔带等方式,以利于拦蓄降水;树种选择与种植方式以垂直地形而异。因此,林草植被恢复是景观生态规划的核心,其林草空间分布格局对水土流失的防治有着重要意义。

4 异质性研究与应用展望

近几年,空间异质性主要还是应用空间理论、网络理论、中心位置理论、渗流理论、中性模型和源汇模型等理论^[29],采用基于数据类型的景观类型图、数值图和多元分析途径来实现对景观空间结

构的研究^[30]。具体方法和分析技术有分布拟合法 (PAM)、分布型指数法^[31]、亲合度分析法、景观类型多样性测定、景观格局多样性测定^[32]，并应用相关空间指数: 自相关指数^[33]、聚集度指数^[34]、平均接近指数^[35]和空间关联度^[36]，以及4种空间分析技术: 空间统计、GAP分析、分维几何、GIS和IGIS^[29]，测定指标数值来反映和分析景观要素的空间异质性。由于空间异质性的动态变化是通过景观元素流 (能量流动、物质循环和信息传递)^[37]而使景观要素发生作用，进而影响景观的功能和生态过程，并且与景观格局有着重要的相互作用^[38, 39]，因此，元素生物地球化学循环是景观生态学的中心内容之一，但在景观生态学中并没有受到重视^[40]。Wallin等^[41]用实验证实，森林格局的变化与产生这些变化的生态过程之间具有时间延迟性。景观中的元素流是景观异质性——景观格局形成的物质基础，结合景观内的生态流来研究景观空间格局与生态过程之间的影响与反馈应是当前景观生态学面临的一大挑战。此外，根据景观要素之间的相互作用规律进行景观生态规划的实践，研究的目标应集中于①探讨将景观作为一个整体考虑，协调人类与自然及其他生物的关系，使景观空间格局和生态特性及其内部的社会文化活动在时间和空间上协调，达到景观优化利用。②对自然景观与人类社会经济活动中的主要因子予以动态监测，分析景观异质性与生态空间稳定性，进行区域生态风险综合评价，及时做出预警预报反应，并设计优化景观生态模型，建立区域生态安全格局。③深入分析区域及景观生态系统的结构及功能，运用现代地理信息技术对景观生态规划与设计进行模拟，其结果来验证规划设计的科学性和合理性，确定景观结构和利用的最优模式，从而推动定量分析与模拟在景观规划与设计中的应用与发展。

参考文献:

- [1] Kareiva P. Space: the final frontier for ecological theory [J]. *Ecology*, 1994, **75**: 1—2.
- [2] Turner M G, Gardner R H. The analysis and interpretation of landscape heterogeneity [A]. In: *Quantitative Methods in Landscape Ecology* [C]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [3] Kolasa J, Pickett T A. *Ecological Heterogeneity* [M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [4] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity [J]. *Oikos*, 1995, **73**: 280—284.
- [5] Dutilleul P, Legendre P. Spatial heterogeneity against heteroscedasticity: an ecological paradigm versus a statistical concept [J]. *Oikos*, 1993, **66**: 152—171.
- [6] Tilman D. *Resource Competition and Community Structure* [M]. Princeton: Princeton University Press, 1984.
- [7] Franklin J F, Forman R T T. Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles [J]. *Landscape Ecol*, 1987, **1**: 5—8.
- [8] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology [J]. *Ecology*, 1992, **73**: 1943—1967.
- [9] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis [J]. *Vegetation*, 1989, **80**: 107—138.
- [10] Dutilleul P, Legendre P. Spatial heterogeneity against heteroscedasticity: an ecological consequences and principles [J]. *Landscape Ecol*, 1993, **7**: 5—18.
- [11] Mobley K A, Morin A, Levin S A. Interpreting ecological patterns generated through simple stochastic processes [J]. *Landscape Ecol*, 1991, **5**: 163—174.
- [12] 伍业钢, 李哈滨. 景观生态学的理论发展 [A]. 刘建国. 当代生态学博论 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 30—39.
- [13] 许慧, 王家骥. 景观生态学的理论与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.
- [14] Tranquillini B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties [J]. *Adv Agron*, 1985, **38**: 44—94.
- [15] Urban D L, O'Neill R V, Shugart J H H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns [J]. *Bioscience*, 1987, **37**: 119—127.
- [16] Meentemeyer V, Box E O. Scale effects in landscape studies [A]. Turner M G. *Landscape Heterogeneity and Disturbance* [C]. New York: Springer-Verlag, 1987. 15—34.
- [17] O'Neill R V. Transmutations across hierarchical levels [A]. Innis G S, O'Neill R V. *Systems Analysis of Ecosystems* [C]. Fairland: International Cooperative, 1979. 140—156.
- [18] King A W, Johnson A R, O'Neill R V. Transmutation and functional representation of heterogeneous landscapes [J]. *Landscape Ecol*, 1991, **5**: 239—253.
- [19] Urban D L, Bonan G B, Smith T M, et al. Spatial applications of gap models [J]. *Forest Ecol & Manage*, 1991, **42**: 95—110.
- [20] Pickett S T A, Cadenasso M L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems [J]. *Science*, 1995, **269**: 331—334.
- [21] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性 [J]. 生态学报, 1997, **17**(5): 455—456.

- [22] 杨学军, 姜志林. 森林可持续经营的生态学原理和景观规划的实现途径[J]. 林业资源管理, 1997, (4): 52—56.
- [23] 马军山, 王欣. 县级旅游区划研究[J]. 浙江林学院学报, 1996, 13(3): 311—315.
- [24] 韦新良, 桂祖云, 方躬勇, 等. 灵峰山风景资源的生态特性与生态旅游发展[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(2): 155—158.
- [25] 王小德, 张万荣, 方金风. 森林公园资源的特征及开发利用[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(1): 88—92.
- [26] 刘世梁, 傅伯杰, 吕一河, 等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 414—420.
- [27] 黄奕龙, 傅伯杰, 陈利顶. 生态水文过程研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 580—587.
- [28] 李玉山. 黄土高原水土保持定位研究新进展[J]. 中国科学基金, (3): 190—104.
- [29] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望[A]. 肖笃宁. 景观生态学研究进展[C]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999. 1—8.
- [30] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 95—188.
- [31] 郭晋平, 阳含熙, 张芸香. 关帝山林区景观要素空间分布及其动态研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 469—473.
- [32] 马克明, 傅伯杰, 周华锋. 北京东灵山地区森林的物种多样性和景观格局多样性的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 1—7.
- [33] Cliff A D. *Spatial Process, Models and Applications* [M]. London: Pion, 1981.
- [34] 李明阳. 浙江临安森林景观生态动态变化分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2000.
- [35] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 20—27.
- [36] 张朝胜, 章申, 何进邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究[J]. 地理学报, 1998, 53(1): 86—95.
- [37] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [38] Ripley B D. *Spatial Statistics* [M]. New York: Wiely, 1981.
- [39] Raine R T, Levin S A. Intertidal landscapes disturbance and dynamics of pattern[J]. *Ecol Monogr*, 1981, 51: 145—178.
- [40] Wiens J A. What is landscape ecology? [J]. *Landscape Ecol*, 1992, 6: 149—150.
- [41] Wallin D Q, Dwanson F J, Marks B. Landscape pattern response to changes in pattern generation rules of Land use legacies in forestry [J]. *Ecol Appl*, 1994, 4(3): 569—580.

Progress in spatial heterogeneity research in landscape ecology

JIANG Wen-wei¹, LIU Tong², DING Li-xia², WEN Guo-sheng³,
ZHANG Wan-rong¹, ZHONG Tai-lin⁴

(1. School of Landscape Architecture and Art, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. School of Life Sciences Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Botanical Garden, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Spatial heterogeneity is a core issue of burgeoning landscape ecology research, and is now becoming a focus of landscape ecology research in China and abroad. The development of the research on the spatial heterogeneity is summarized through its concept, relationship between spatial structure feature and scale, and the practice of landscape planning. The influences and feedback between landscape spatial structure and ecological process shall focus on the developing direction of inner ecological flow. The developing target of applying heterogeneity theory to landscape ecological planning is put forward. [Ch, 41 ref.]

Key words: ecology; spatial heterogeneity; landscape ecological planning; review; summarization and prospect